Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions (Proceedings of an international symposium held at Montpellier. April 2003). IAHS Publ. no. 278, 2003.

La prédiction du comportement hydrologique du bassin Awage en utilisant le modèle WMS (Watershed Modelling System)

AMMAR TAHA & WAEL MUALLA

Département de Génie de l'Eau, Faculté de Génie Civil, Université de Damas, Syrie

amartaha@scs-net.org

Résumé La situation critique dans les régions arides et semiarides en général et dans l'agglomération damascène en particulier nous mène à chercher chacune des goûtes d'eau et à essayer de l'utiliser dans les meilleures conditions. La ville de Damas, qui compte environ quatre millions d'habitants, subit une grave dégradation qualitative et quantitative de la ressource en eau. Les trois ressources en eau actuellement disponibles ne sont pas suffisantes pour répondre aux besoins domestiques. Ces ressources, qui sont la source de Fijeh, les puits dans la vallée de Barada et les puits dans la ville de Damas peuvent fournir en été 50% des besoins en eau. Le but de ce papier est d'étudier une quatrième ressource, le bassin versant Awage qui se trouve dans le sud de Damas, sud-ouest de la Syrie. Le travail consiste à faire une simulation hydrologique de ce bassin avec le WMS (Watershed Modelling System) pour comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin notamment la genèse de l'écoulement de surface. La variabilité de la végétation et la proportion de surface imperméable sont étudiées pour déterminer leurs rôles dans le fonctionnement du bassin. Les résultats sont analysés, commentés, et critiqués.

Mots clefs averse; bassin versant; crue; hydrogramme; modlisation; nappe phratique; ressources en eau; surface impermable

Key words storm; catchment; flood; hydrograph; modelling; aquifer; water resources; impermeable area

INTRODUCTION

Depuis longtemps, les hydrologues s'intéressent à la modélisation pour étudier le comportement hydrologique des bassins versants. Dans notre étude, nous allons utiliser le modèle WMS "Watershed Modelling System", qui est développé à l'université Brigham Young (WMS-Hydro 1999; BOSS, 1998; HEC Overview Guide, 1990; Boss International, 1998). Ce modèle est largement utilisé, i.e. l'aménagement du bassin "Black River", la modélisation du bassin "Cedar Crack" réalisée par l'armée américaine après les inondations de Mississipi, l'étude du bassin urbain "American Fork" et du bassin "Alpine" à Utah, la rivière "Sava" en Croatie.

La situation géographique du bassin Awage, en l'occurrence son voisinage avec Damas (quatre millions d'habitants), donne à cette étude une importance. Nous citerons à titre d'exemple l'étude statistique réalisée par le DGIBA (1978, 1990) pour l'aménagement du bassin estimant un manque d'eau égale à 348 mm^3 an^{-1}, l'étude russe (1984) basée sur le calcul du taux d'infiltration prévoyant 80 cm an^{-1} de baisse du niveau de la nappe phréatique, l'étude hydrogéologique de ACSAD (1998) estimant un apport d'eau souterrain de 250 à 430 mm^3 an^{-1} et l'étude réalisée par JICA (1997,

2000) basée sur un modèle de stockage synthétique montrant une baisse de la nappe phréatique d'environ un mètre par an avec une consommation annuelle d'eau supérieure à l'apport annuel (113%). Taha (2002) a utilisé un modèle conceptuel de trois réservoirs dans la partie amont du bassin Awage. Il a montré qu'environ 15% de la pluie génère l'écoulement de surface et le reste constitue la perte par évaporation et recharge de nappe. Toutes ces études révèlent la baisse du niveau de la nappe phréatique due à la surconsommation et le gaspillage par l'irrigation.

Présentation du bassin

Le bassin Awage se trouve au sud de Damas, sud-ouest de la Syrie, dans une région semiaride, entre le massif Haramoun en amont et le lac Hijaneh en aval. Notre étude se limitera dans la partie amont du bassin jusqu'à Om-Sharatit pour deux raisons, la première est pour travailler dans la partie pérenne de la rivière Awage (écoulement quasi permanent); la seconde est de s'éloigner des zones aménagées pour l'utilisation agricole. Cette partie amont du bassin sera nommée dans la suite de l'article le bassin Awage.

Le bassin Awage a une superficie de 320 km^2; il est caractérisé topographiquement par deux parties: une partie montagneuse (en amont) avec une altitude de 1500 à 2800 m et une partie constituant la vallée (en aval) avec une altitude de 600 à 1400 m. La géomorphologie est de quatre types: volcanique, affectée par l'érosion, sédimentaire (relief accumulatif) et perturbée par l'homme (JICA, 1997). Le réseau hydrographique du bassin est constitué de deux ruisseaux: le Sibrani et le Ginani qui se rejoignent pour former la rivière Awage (Fig. 1).

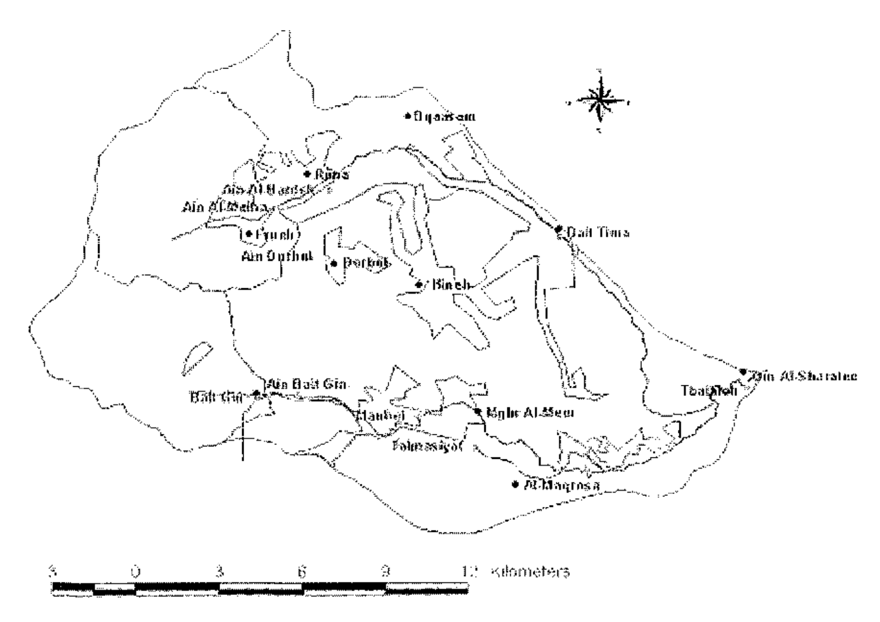


Fig. 1 Schéma du bassin Awage avec le Sibrani et le Ginani, les sources et les chefs lieux, ainsi que les sous bassins Arneh, Beit-Jin, Beit-Tima et Om-Sharatit.

Les précipitations dans le bassin Awage ont lieu particulièrement en période hivernale avec une moyenne annuelle de 800 mm en montagne et 250 mm en vallée. La température moyenne mensuelle de 25°C en juillet et diminue jusqu'à 5°C en janvier. L'humidité relative est égale à 75% en hiver et 45% en été et l'évaporation mensuelle est de 270 mm en été et 50 mm en hiver. Nous avons divisé le bassin Awage en sous bassins (Fig. 1): deux montagneux Beit-Jin (50 km^2) et Arneh (38.5 km^2), un dans la vallée Om-Sharatit (179 km^2) et un sans tendance Beit-Tima (52 km^2).

Présentation du modèle WMS

Le modèle peut définir le domaine utilisant soit le Réseau Triangulaire Irrégulier (TIN), soit le Modèle Numérique de Terrain ou bien le Système d'Information Géographique. Nous avons utilisé le TIN avec un réseau triangulaire (Fig. 2).

Le Tableau 1 présente les paramètres morphologiques calculés par le modèle WMS. Ces paramètres jouent un rôle important dans la formation des hydrogrammes. Nous remarquons dans ce tableau que la pente moyenne du bassin Om-Sharatit (5%) est inférieure à celles des autres bassins (~15%), comme nous l'avons défini auparavant. La forme des bassins a une tendance à s'orienter vers le sud à l'exception de Arneh qui n'a pratiquement pas de tendance. Nous remarquons aussi une grande variation dans l'altitude des bassins Arneh, Beit-Tima, Beit-Jin (1600–1900 m) et celui de Om-Sharatit (1020 m). Nous remarquons ainsi que la longueur du lit pour Arneh est relativement petite (0.3 km) par rapport à celle de Om-Sharatit (18 km).

Le modèle WMS contient plusieurs procédures hydrologiques qui sont: HEC-1, traitant le bassin comme un système interconnecté de composants hydrologique et hydraulique pour le calcul de ruissellement; TR-20 qui est un modèle d'averse à base physique faisant l'évaluation hydrologique; NFF, calculant le débit de crue d'une

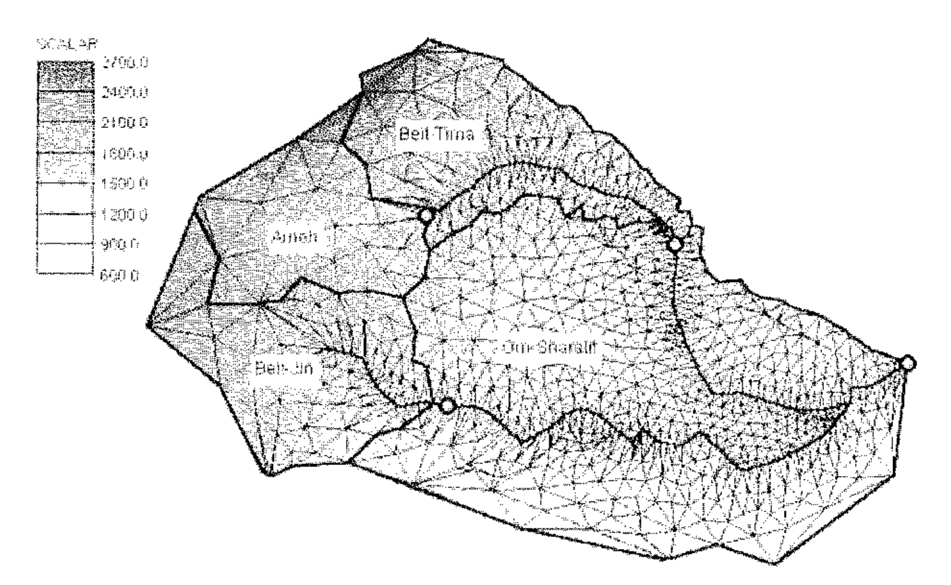


Fig. 2 Le réseau triangulaire généré dans le bassin Awage.

Tableau 1 Caractéristiques morphologiques des bassins Arneh, Beit-Jin et Beit-Tima.

Item	Unité	Arneh	Beit-Tima	Beit-Jin	
Superficie	km^2	38.5	52.0	50.0	179
Pente moyenne	%	18	16	15	5
Altitude moyenne	m	1890.1	1611.7	1695.7	1020.0
Longueur du bassin	km	8.6	13.0	11.7	9.5
Périmètre du bassin	km	30.0	40.1	34.4	61.4
Superficie nord/sud	0/0	49/51	18/82	35/65	25/75
Longueur du lit	km	0.3	10.8	5.5	18.0
Pente du lit	%	0.8	3.9	7.7	1.6
Longueur moyenne de l'écoulement superficiel	km	2.8	1.5	1.8	2.1
Coefficient de forme	mil^2 mil^{-2}	1.92	3.25	2.72	0.51
Coefficient Tortuosité	m m^{-1}	0.03	0.83	0.47	2.18
Longueur max. d'écoulement	km	9.0	14.6	15.1	24.5

Tableau 2 Répartition spatiale de la végétation dans le bassin Awage.

Type de végétation	Proportion (%):	
	Om-Sharatit	Autre sous bassin
Forets	4	7
Basse végétation	35	31
Agricole	30	27
Urbaine	31	35

averse avec une période de retour T ans et Rationnel, modèle simple utilisé souvent dans l'hydrologie urbaine. Notons que le WMS est un modèle d'averse qui n'intègre pas la variation de l'humidité du sol pendant une simulation; il ne reflète totalement pas les équations de Saint Venant dans le calcul du débit de crue et il calcule les réservoirs par la technique "Pulse" qui convient bien au type de réservoirs à vidange en aval. Dans notre étude nous avons utilisé la procédure HEC-1 déduisant la pluie efficace et utilisant l'hydrographe unitaire.

Le Tableau 2 présente la proportion des types de végétation dans le bassin Awage. Le sol considéré est du type B, avec une humidité initiale de type AMC-II. Le CN initialement considéré est égal à 70 pour Om-Sharatit et 65 pour les autres bassins. Le temps de retard a été calculé par l'équation de Tylor avec m = 0.53. La validation du modèle a été effectuée et les paramètres optimisés sont ensuite considérés dans la simulation des bassins.

RESULTATS ET DISCUSSION

Nous avons calculé l'hydrogramme résultant d'une averse égale à 30 mm pendant 24 h pour tout les sous bassins. La Fig. 3 montre les débits spécifiques calculés pour les sous bassins Arneh, Beit-Jin, Beit-Tima et Om-Sharatit. Nous constatons dans cette figure que les débits spécifiques des deux sous bassins Beit-Tima et Beit-Jin sont

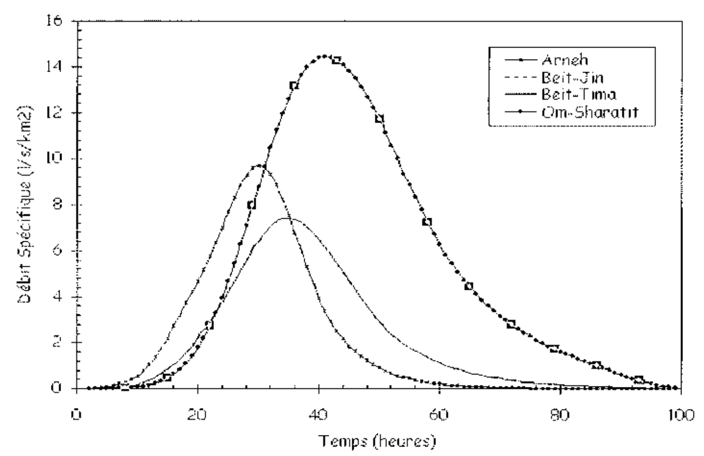


Fig. 3 Débit spécifique des bassins Arneh, Beit-Jin, Beit-Tima et Om-Sharatit.

parfaitement superposables, c'est à dire qu'on a une contribution identique des deux sous bassins. Leurs débits spécifiques atteignent une valeur maximale de 7 l s km^2. Ce comportement semblable des deux bassins confirme la similitude constatée entre les valeurs géomorphologiques présentés (Tableau 1), Malgré une différence dans certains paramètres morphologiques.

Cependant le bassin Arneh a un comportement plus impulsif par rapport aux autres sous bassins, ceci peut être dû à la longueur maximale d'écoulement (9 km) qui est bien inférieure aux autres bassins. Le débit spécifique du bassin progresse plus rapidement pour atteindre une valeur de pic égale à environ 10 l s km^2. Nous remarquons, au début de l'averse, que le débit spécifique du bassin Om-Sharatit démarre plus lentement par rapport au débit des autres bassins mais ce débit augmente plus rapidement pour atteindre une valeur maximale égale à environ 15 l s km^2, 40 h après le début d'averse bien que les paramètres géomorphologiques du bassin aient une influence régressive sur l'hydrogramme. Dans ce cas, nous pensons que le rôle prédominant dans la formation de l'hydrogramme du bassin Om-Sharatit est le type de sol, la proportion de surface imperméable et les types de végétation. Nous notons ainsi que la réponse du bassin Om-Sharatit est un peu en retard par rapport aux autres sous bassins. Ces paramètres ont été pris en compte dans notre modèle par la modification de la valeur de CN. La Fig. (4) montre le débit calculé pour Om-Sharatit, Arneh et Beit-Jin. Nous remarquons que le débit de Om-Sharatit est beaucoup plus important que ceux de Arneh et Beit-Jin. La raison est que la superficie de ce sous bassin est largement supérieure, en plus de ce que nous avons auparavant vu concernant le débit spécifique. On note que le débit de pic de Om-Sharatit est égal à 2.5 m^3 s^{-1} et pour les autres sous bassins est égal à environ 0.4 m^3 s^{-1}.

Le modèle a été utilisé pour analyser l'influence du type de végétation et du développement urbaine. Nous avons calculé l'hydrogramme à Arneh seulement pour éviter la diversification et suivant la disponibilité des observations. Nous avons calibré le modèle pour parvenir à réduire l'erreur relative du volume (volume d'eau calculé V_c sur celui observé V_o) à 7% (20% avant calage), et l'erreur relative du pic de l'hydrographe (la valeur maximale calculée sur celle observée) à 20% (50% avant calibration).

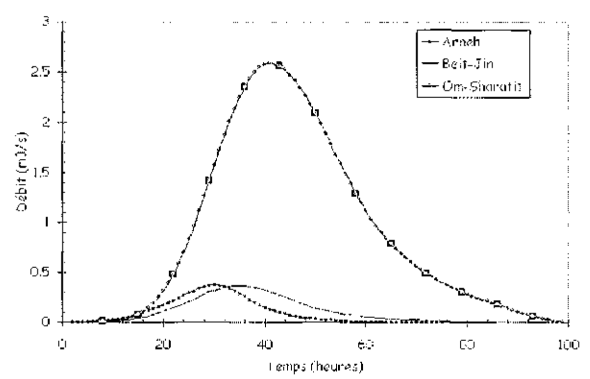


Fig. 4 Hydrogramme des bassins Arneh, Beit-Jin et Awage.

Rôle de la couverture végétale

Nous avons analysé l'influence de la modification de la végétation haute (arbres) en végétation basse (épineux, herbes, …)sur l'hydrogramme, c'est à dire l'effet de l'abattage des arbres privilégiant plus au moins le ruissellement de surface. Ceci s'exprime mathématiquement par la modification de la valeur CN par une autre valeur supérieure.

Fig. 5 Hydrogrammes calculés par le modèle WMS. (A) sans modification, (B) modification de végétation, (C) modification de surface imperméable.

La Fig. (5) montre les hydrographes calculées au cas de non-modification de la végétation et après la modification de la végétation; ceci pour les sous bassins Beit-Jin, Beit-Tima et Om-Sharatit ainsi que pour le bassin Awage. Nous remarquons que la modification de la végétation n'influence pratiquement pas l'hydrogramme dans sa partie de crue mais elle modifie sa partie de récession. On note aussi que le pic de l'hydrogramme devient deux fois plus important et décalé d'environ 12 h.

Influence de développement urbain

Une autre variable qui a été analysée est celle du développement urbain dans le bassin. Nous avons supposé une augmentation de surface imperméable de l'ordre de 10% apportée à chacun de sous bassin. Cette augmentation provoque un fort changement dans l'hydrogramme de crue. Nous remarquons sur Fig. 5 que le débit de pic pour Beit-Jin et Beit-Tima devient 12 fois plus important, par contre pour Om-Sharatit seulement six fois. En plus, la modification de la surface imperméable a provoqué une inclinaison (inverse) dans la forme de l'hydrographe pour Om-Sharatit, et en conséquence dans la forme de l'hydrogramme du bassin Awage.

CONCLUSION

Cette étude justifie les deux types de fonctionnement dans le bassin Awage: en amont (montagneux) et en avale (vallée). Le débit spécifique en amont est inférieur à celui en aval bien que la précipitation soit supérieure en amont. Par ailleurs le type de végétation participe activement à la genèse des écoulements avec une augmentation du débit de crue de l'ordre de 2.6 fois. La proportion de la surface imperméable dans le bassin joue aussi un rôle essentiel; une augmentation de 10% de la surface imperméable provoque une multiplication par six du débit et une modification de l'hydrographe. Ceci met en évidence les conséquences hydrologiques et écologiques de l'aménagement du bassin en zones semiarides. La modification des caractéristiques géomorphologiques du bassin Awage développera l'écoulement de surface en augmentant l'évaporation et en diminuant l'infiltration.

REFERENCES

ACSAD (1998) Banque de données sur les ressources en eau en Syrie. Centre Arabe pour l'Étude des Zones Arides, Damas, Syrie.

BOSS Int. (1998) http://www.bossintl.com

DGIBA (1978) et (1990) Aménagement des bassins: Rapport final. Directorat Général d'Irrigation de Barada et Awage, Damas, Syrie.

HEC Overview Guide (1990) Hydrologic Engineer Center, US Army corps of Engineers, USA.

JICA (1997, 2000) The study in water resources development in the northwestern and central Basins in the SAR, Phase I and phase II, final and support report, vol. III. Damas, Syria.

Taha, A. (2002) Hydrologic study and conceptual model for Awage watershed. *J. Damascus Univ. Engng Sci.* **8**(1).

WMS Hydro (1999) *Manuel d'Utilisation*, version 2. Brigham Young University, Environmental Modeling Research Laboratory, Utah, USA.